



УДК 621.313.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ КАНАЛОВ В ТОРЦЕВОЙ
ЧАСТИ ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ НА
ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ СИНХРОННОГО
ГЕНЕРАТОРА ЗАКРЫТОГО ИСПОЛНЕНИЯ**

**RESEARCH OF THE ROTOR END WINDING
VENTILATION DUCTS EFFECT ON THE
THERMAL STATE OF ENCLOSED SYNCHRONOUS
GENERATOR**

Атаев Теймур Сеймурович, аспирант каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: timoha91@gmail.com, Тел.: +7(909)006-68-38

Денисенко Виктор Иванович, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электрические машины», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: v.i.denisenko@urfu.ru.

Teymur T. Ataev, Postgraduate student, Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: timoha91@gmail.com. Ph +7(909)006-68-38

Viktor D. Denisenko, Doctor Sc., Prof., Department «Electrical machines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: v.i.denisenko@urfu.ru.

Аннотация: В данной статье рассматривается влияние вентиляционных каналов в торцевых частях обмотки возбуждения генератора на общий среднеобъемный перегрев обмотки возбуждения относительно поступающего в межполюсное пространство воздуха с помощью численного моделирования в пакете ANSYS.

Abstract: In this paper the number and size effect of the end rotor winding ventilation ducts in synchronous generator SG-60 on volume average winding temperature rise over the inflow air using numerical modeling approach in ANSYS is considered.

Ключевые слова: Синхронный генератор; обмотка возбуждения; тепловое состояние; численные методы.

Key words: Synchronous generator; field winding; thermal state; numerical methods.

ВВЕДЕНИЕ

С развитием малой энергетики растет потребность в разработке новых конструкций дизель-генераторных установок, способных работать в различных чрезвычайных ситуациях и в экстремальных климатических условиях, в том числе в пожароопасных условиях при ремонтах газо- и нефтепроводов, требующих высокую степень надежности энергоснабжения. Для работы в таких условиях целесообразно иметь закрытое исполнение генератора с совмещенным бесщеточным возбудителем.

Одним из генераторов, разрабатываемых на кафедре электрических машин УрФУ, является дизельный генератор закрытого исполнения мощностью 60 кВт. В качестве одной из главных задач поставлена задача сохранения высоты оси

вращения прототипа – дизельного генератора той же мощности в защищенном исполнении.

На текущий момент выполнены тепловой и вентиляционный предварительные расчеты методом эквивалентных тепловых и гидравлических схем средствами пакета MathCad [1], а так же поверочный вентиляционный расчет методом конечных объемов в пакете Ansys [2]. В данной статье, помимо перечисленных в [2] способов форсирования вентиляции и снижения тепловых нагрузок, рассматривается влияние вентиляционных каналов в торцевых частях обмотки возбуждения генератора на общий среднеобъемный перегрев обмотки возбуждения относительно поступающего в межполюсное пространство воздуха.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью проведения численного эксперимента является поиск наиболее оптимальных параметров воздушного пространства в пределах торцевых зон катушки возбуждения (рис. 1), при которых дальнейшее увеличение массогабаритных показателей катушки не будет давать какого либо значимого преимущества в тепловом отношении.

Численный эксперимент проведен методом конечных объемов средствами пакета Ansys, а именно в компоненте Ansys CFX с использованием возможности учета передачи тепла в твердых телах Conjugate Heat Transfer.

В целях упрощения задачи катушка обмотки возбуждения была смоделирована таким образом, при котором межвитковая изоляция была как бы вынесена на внешнюю поверхность катушки и учтена в интерфейсе между доменом катушки и доменами воздуха и сердечника ротора. Такая условность в небольшой мере влияет на распределение температуры по поперечному сечению катушки, т.к. даже при том, что тепловое сопротивление между внутренними и близкими к поверхности катушки витками становится пренебрежительно малым, потери между этими витками распределены равномерно, поэтому межвитковые тепловые потоки являются ничтожно малыми. На среднеобъемную же температуру, являющуюся целевым параметром, такая условность абсолютно не влияет.

Количество витков как по высоте, так и по ширине равно 10, при этом толщина межвитковой изоляции на один виток равна 0,3 мм, поэтому эквивалентная толщина межвитковой изоляции в аксиальной части катушки, а так же на верхних и нижних поверхностях торцевых частей катушки одинакова и составляет 1,5 мм на каждую сторону. Общая толщина изоляции на боковых поверхностях торцевых частей так же должна быть равна 3 мм, поэтому при наличии вентиляционных каналов, толщина на одну боковую сторону уменьшается пропорционально их количеству. Так, при наличии одного канала, на каждую боковую поверхность торцевой части катушки приходится по 0,75 мм изоляции, двух каналов – 0,5 мм, трех – 0,375 мм. Сами вентиляционные каналы образуются благодаря намотке катушки на изоляционные распорки, поэтому их наличие обязательно учитывается в качестве отдельных твердых доменов.

В качестве граничного условия (рис.2) на входе был задан массовый расход, соответствующий расчетному из поверочного вентиляционного расчета, и равный 0,0855 кг/с, а также температура воздуха, равная 50 °С. Так как различная конфигурация вентиляционных каналов в данной части синхронного генератора практически не влияет на общий расход воздуха, то он

принимается одинаковым для каждого расчетного случая. Граничное условие на выходе типа “Opening” задается с относительным статическим давлением 0 Па и температурой воздуха 75 °С. Такая температура вытекает из уравнения теплового баланса при данных расходе воздуха и величине отводимых потерь. Граничное условие типа “Outlet” в данном случае неприменимо по причине наличия существенных обратных течений воздуха в зоне пониженного давления, которая находится в области нижней части сердечника. Внешняя поверхность вращающегося воздушного домена ограничивается диаметром статора и принята в качестве стенки, вращающейся в обратном направлении по отношению к домену (Counter Rotating Wall), что означает нулевую угловую скорость стенки в абсолютных координатах. Потери, согласно электрическим данным генератора, составляют 482,5 Вт на одну расчетную катушку возбуждения и 61,32 Вт на полюс ротора и принимаются равными для каждого расчетного случая.

Критерием сходимости решения задачи является выход целевого параметра, который выводится на отдельный монитор решателя CFX, на установившуюся величину, изменяемую в пределах погрешности 0,5% за последние 100 итераций расчета.

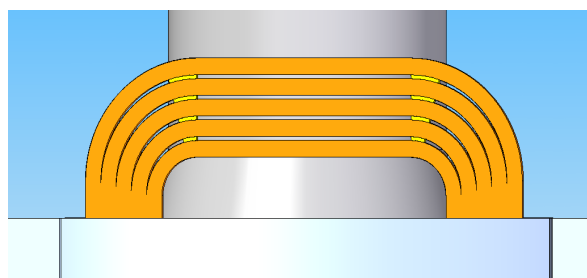


Рис. 1 – Вид на торцевую часть катушки возбуждения с 4 вентиляционными каналами.

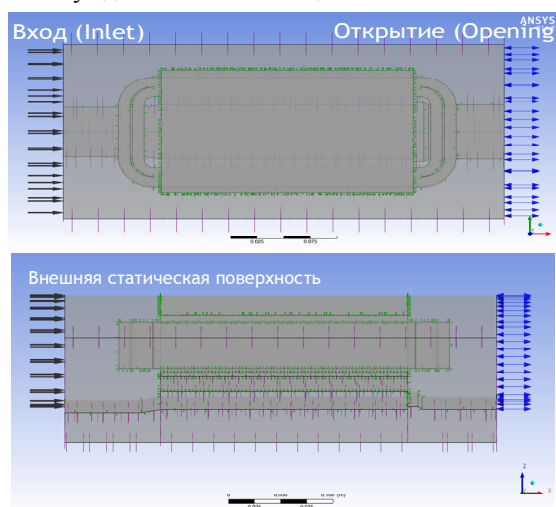


Рис. 2 – Постановка задачи в CFX-Pre

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Результаты каждого численного эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты численных экспериментов

Количество каналов	Ширина канала, мм	Среднеобъемный перегрев обмотки возбуждения, °C
0	0	196,82
1	1	151,2
	2	143,15
	3	141,08
2	1	122,73
	2	113,16
	3	113,37
3	1	106,8
	2	98,34
	3	98,58
4	1	97,01
	2	88,07
	3	88,04

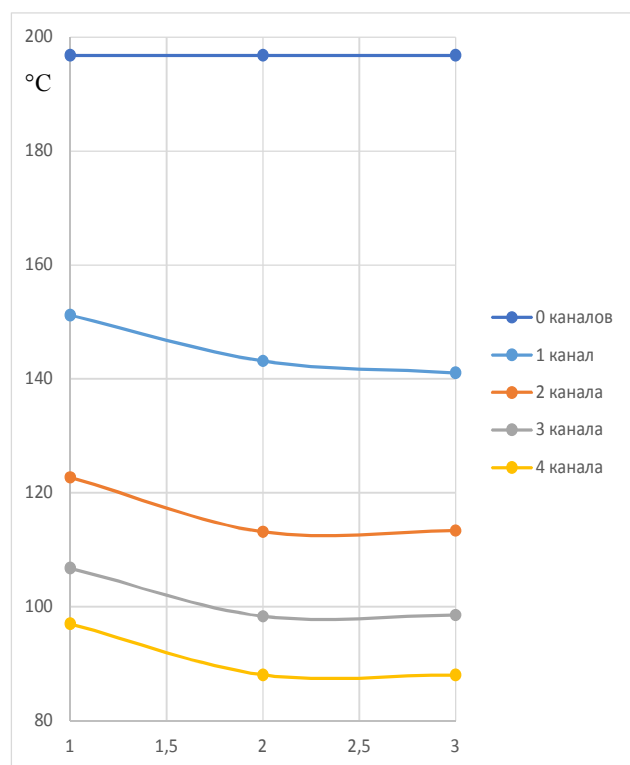


Рис. 3 – Перегрев обмотки ротора в зависимости от числа и ширины вентиляционных каналов

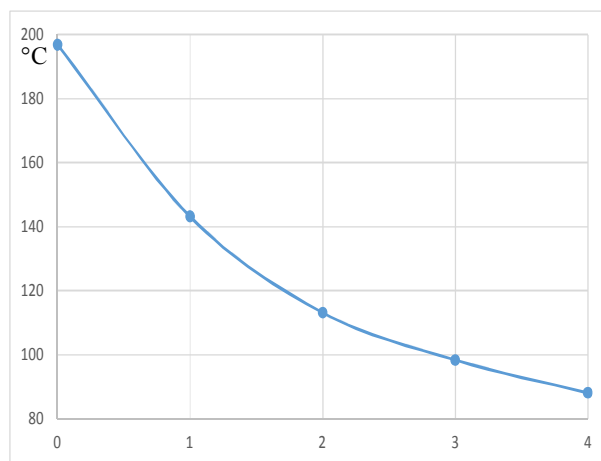


Рис. 4 – Перегрев обмотки ротора в зависимости от количества вентиляционных каналов шириной 2 мм.

Из полученных данных можно сделать вывод, что наличие вентиляционных каналов в торцевых частях обмотки возбуждения позволяет существенно снизить ее перегрев (на 108 °C при наличии четырех каналов), при этом их оптимальная ширина составляет 2 мм (рис.3). Дальнейшее увеличение ширины не приносит результата.

Количество каналов больше четырех, судя по тенденции на графике (рис.4), будет уже не так значительно влиять на перегрев обмотки, т.к. дальнейшее изменение объема катушки, а, следовательно, и ее электрических потерь, будет иметь заметное влияние, поэтому количество каналов, равное четырем, принимается как оптимальное для данной обмотки возбуждения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Атаев Т.С. Оценка теплового состояния дизельного генератора закрытого исполнения с применением наноструктурированных изоляционных материалов / Т.С. Атаев, А.С. Кожевин, М.В. Кычанов, А.Н. Мойсейченко, В.И. Денисенко, А.Т. Пластун. // Проблемы повышения эффективности электромеханических преобразователей в электроэнергетических системах: Материалы XII Международной науч.-техн. конф. (г. Севастополь, 23-27 сентября 2013 г.). – Севастополь, 2013. – С. 91-93.
- Атаев Т.С. Дизельный генератор закрытого исполнения с совмещенным многофункциональным бесщеточным возбудителем с применением наноструктурированных изоляционных материалов / Т.С. Атаев, В.И. Денисенко // Пром-Инжиниринг: Материалы Международной научно-технической конференции (г. Челябинск, 19-20 мая 2016 г.) – Челябинск, 2016. С. 188-191.